

基礎から学ぶ

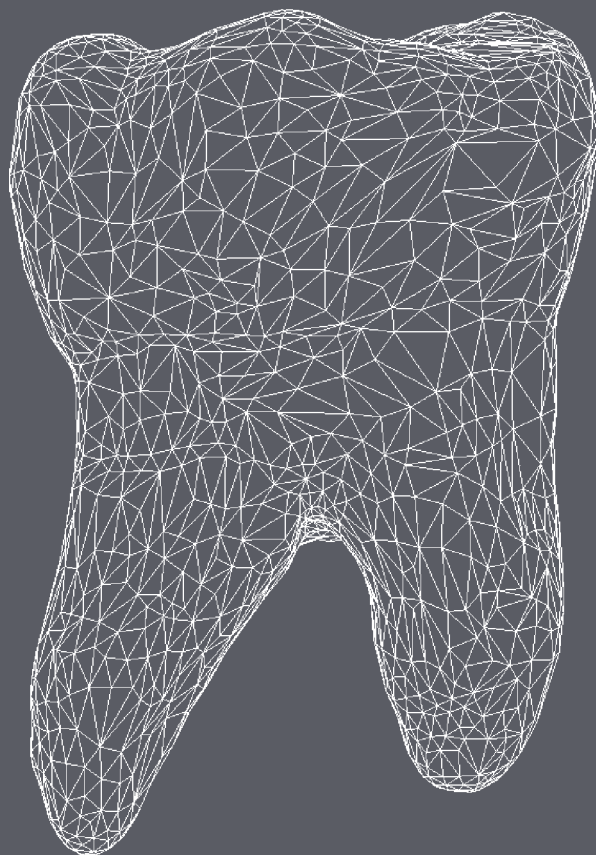
# CAD/CAM テクノロジー

監修

日本デジタル歯科学会  
全国歯科技工士教育協議会

編

末瀬一彦  
宮崎 隆



医歯薬出版株式会社

## 日本における歯科用 CAD/CAM システムの現状

日本における歯科用 CAD/CAM システムの市場は海外からの輸入品を中心に年々増加してきたが (図 5), 特に, 臼歯部の歯冠修復やブリッジへの対応が可能である「ジルコニア」が薬事承認された 2005 年以降は, オールセラミックスによる歯冠修復が安定的に臨床応用可能となり, 装置ならびに材料の供給体制が整って急速に普及してきた。しかし, 個人経営が 3/4 を占める日本独特の小規模な歯科技工所の構造体系に歯科用 CAD/CAM システムを浸透させていくためには, 従来型の歯科技工システムから脱却した新しい流通経路を構築する必要がある。2 年に一度, ドイツのケルンで開催される IDS においては, 近年, CAD/CAM 関係のブースはインプラントを凌ぐ

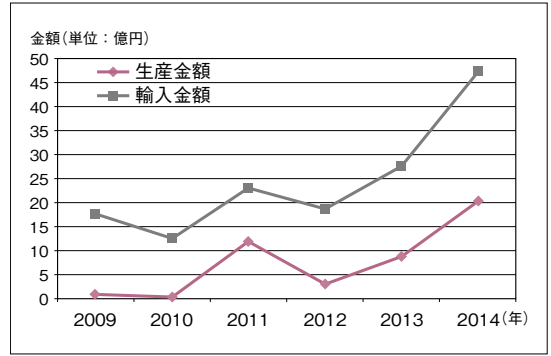
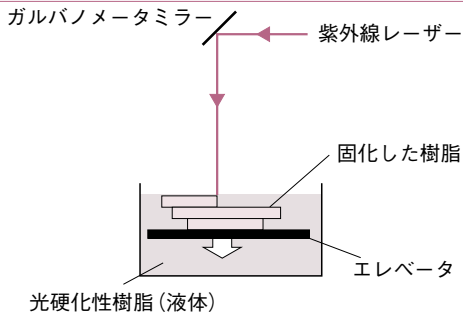


図 5 歯科用 CAD/CAM システムの生産額・輸入額の推移

勢いで, 歯科関連企業以外のメーカーの出展も目を引いている。2017 年の IDS では, 口腔内スキャナーの小型軽量化, 高精度化, 切削加工機のコンパクト化, 製作目的に応じた 3D プリンターの台頭, 使用材料の多様化などが注目された (図 6)。

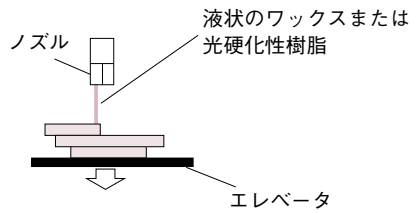


図 6 2017 年の IDS で発表された最新の歯科用 CAD/CAM 製品



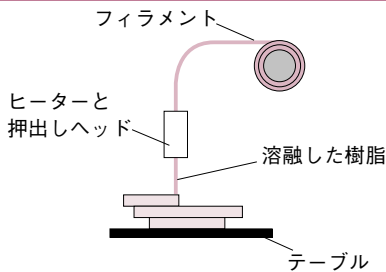
**液槽光重合法 (光造形法)**

液槽内の液体の光硬化性樹脂に選択的に光を照射し、一層ずつ硬化させる方法



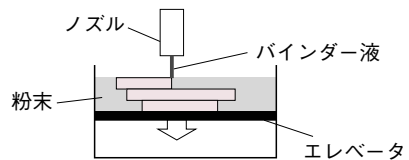
**材料噴射法 (インクジェット法)**

ワックスや光硬化性樹脂などの液滴状の材料を選択的に噴射させて、一層ずつ堆積させる方法。光硬化性樹脂の場合は、噴射させたものに光を照射して硬化させる



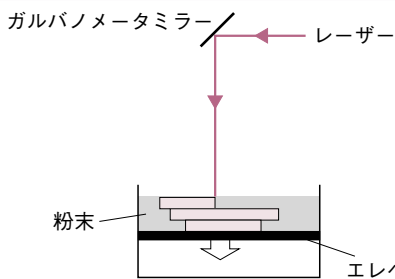
**材料押出法 (溶融堆積法)**

材料を溶融してノズルや開口部から押し出して堆積させる方法。フィラメント (細い線状の材料) がよく使われている



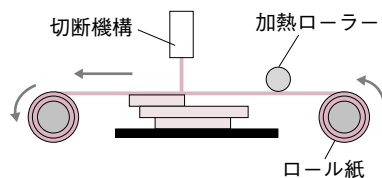
**結合剤噴射法**

石膏などの粉末材料に液体の結合剤を選択的に噴射させて、一層ずつ硬化させる方法



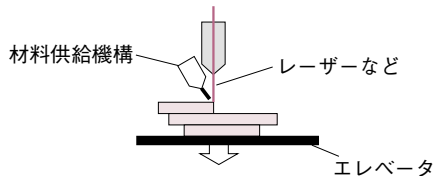
**粉末床溶融結合法**

レーザーなどの熱エネルギーにより、粉末床の粉末を選択的に溶融させ、一層ずつ硬化させる方法。金属材料を利用できる



**シート積層法**

シート状の材料を切って、接合させ、立体的な物を作る方法



**指向性エネルギー堆積法**

材料を供給しつつ、熱エネルギーにより、材料を溶融させ、一層ずつ硬化させる方法。金属材料を利用できる

図8 付加造形方法の種類



図1 5軸加工機 (DWX-50, Roland)  
材料を360°回転させる軸と前後方向に20°傾ける軸を備えている。



図2 各種加工材料

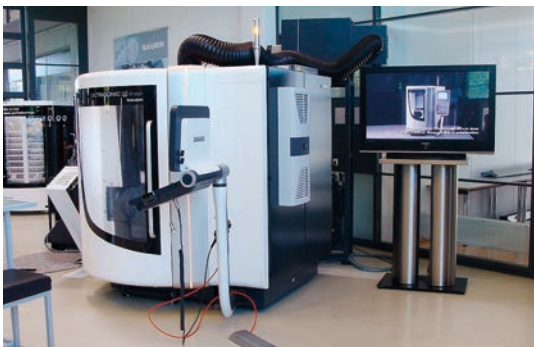


図3 5軸加工が可能なマシニングセンター (DMU/DMC monoBLOCK®, DMG MORI)  
ジルコニアの焼結体が切削可能である。

半焼結体を切削し、切削後に本焼結（シンタリング）して完成させる。この際、約20%収縮するため、最終的な寸法を見越した加工を行う必要があるが、ジルコニアの焼結体を直接切削できれば、加工切削の利点を活かしたより精度の高い加工が可能となる（図3）。

### ●精度

一般に精度の高い加工にはエンドミルをxyz座標に動かす際の位置決め精度が高いことが求められる。しかし、位置決め精度が仮に1 $\mu$ m以内だとしても、加工した材料を1 $\mu$ m以内の精度で加工することはできないことに注意したい。機械が精度よくても、使うエンドミルの外径や刃長、刃数によってエンドミルのたわみが異なり、たとえば長さが長いほど回転させたときの振動が大きくなって数十 $\mu$ mになることがある（図4）。

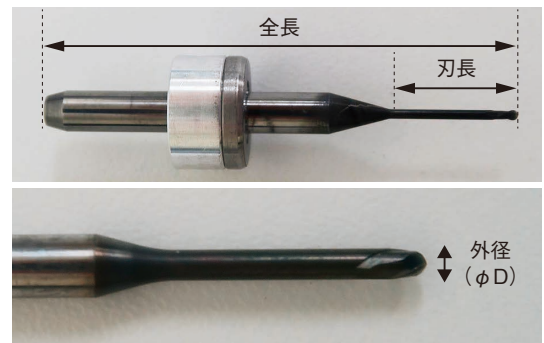


図4 エンドミルの名称

また、硬い材料を加工したり、長期間同じエンドミルを使用していると加工工具自体のたわみが生じたりするように、加工速度、加工に際して発生する圧や熱、設定するパスによっても、最終的な加工物の精度が変わってくる。したがって、このようなずれが生じることを念頭に、加工を行うことが必要である。

補綴装置の加工にはクラウン内面の隅角部分などの鋭縁に注意が必要となってくる。このような形状では径の小さいエンドミルを使用するが、あまり細かいエンドミルを使用すると精度の低下を招く可能性がある。また、エンドミルの径より狭いような形状の場合には、図5のように余分に切削され、クラウンと支台歯間に不適合を生じて、厚みが薄くなるなどの不具合が生じる。

つまり支台歯形態も重要な要因となることは言うまでもなく、専用のダイヤモンドポイントでの切削により、その危険を回避できる。



図4 ジルコニアフレーム上の陶材を積層したブリッジ  
白歯を含むブリッジにはジルコニアが応用される。

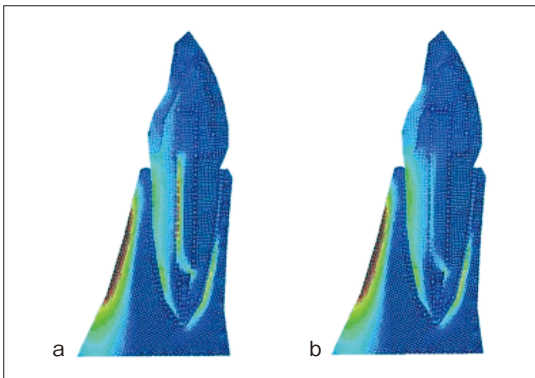


図6 鋳造ポスト (a) に比べて、ファイバーポスト (b) ではポスト先端の象牙質に加わる応力が小さい (文献<sup>1)</sup>より引用、一部改変)

は、歯冠崩壊を伴うことが一般的であり、支台築造が必要となる。セラミックスは透光性があり、支台歯の色調をある程度反映する。そのため、支台築造もメタルではなく、レジンなど歯冠色材料を使用することが望ましい。CAD/CAMセラミック修復では、ファイバーポストを併用したコンポジットレジンによる支台築造がよく用いられている (図5)。ファイバーポストは審美性だけではなく、メタルポストに比べて抜歯につながる歯根破折が少ないといわれている<sup>1)</sup> (図6)。

CAD/CAMセラミッククラウンにおける標準的な支台歯形態を図7に示す。クラウンの厚みは、辺縁部で0.8~1.2mm、歯冠中央部で1.0~1.5mm、前歯の切端部や白歯の咬合面部で1.5~2.0mmが基本となる。支台歯が生活歯の症例で



図5 ファイバーポストを併用したコンポジットレジンコア  
透光性をもつセラミッククラウンには特に有効となる。

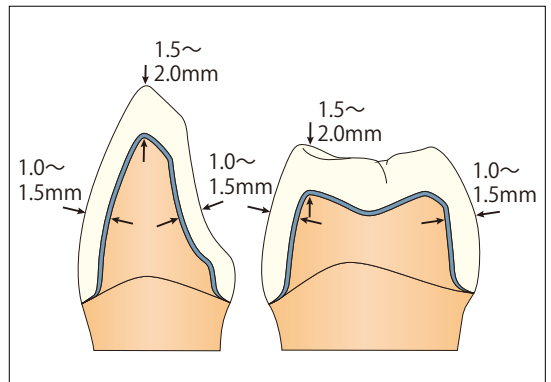


図7 CAD/CAMセラミッククラウンの標準的な支台歯形態とクラウンの厚み  
生活歯ではこれよりも削除量が少なくなる。

は、歯髄を守るため歯質削除量は少なくなる。診断用ワックスアップを利用して製作したジグを用いれば削除量の確認が行える (図8)。保険適用のCAD/CAM冠 (ハイブリッド型コンポジットレジン) と同様に、支台歯のスキャンを行い、セラミックブロックからクラウンあるいは内層のフ

表1 代表的なシミュレーションソフトとサージカルガイドシステム

| システム／メーカー／ソフトウェア   | 支持様式      | 各種印象法とマッチング法  | オープンシステム／クローズドシステム                                 |
|--|-----------|---|--|
| BoneNavi サージカルガイド<br>和田精密歯研株式会社<br>BioNa                 | 骨・粘膜・歯牙支持 | 通法印象<br>光学印象模型スキャナー<br>DICOM+STL (光学印象)                 | オープンシステム<br>STL データ排出機能付き<br>スキャナーであればい<br>ずれも可能   |
| Straumann ガイド<br>ストローマン・ジャパン株式会社<br>coDiagnostiX         | 骨・粘膜・歯牙支持 | 通法印象<br>光学印象模型スキャナー<br>光学印象口腔内スキャナー<br>DICOM+STL (光学印象) | オープンシステム<br>STL データ排出機能付き<br>スキャナーであればい<br>ずれも可能   |
| NobelGuide<br>ノーベル・バイオケア・ジャパン<br>株式会社<br>NobelClinician  | 粘膜・歯牙支持   | 通法印象<br>光学印象模型スキャナー<br>DICOM+STL (光学印象)                 | クローズドシステム<br>メーカー指定の光学ス<br>キャナーのみ可能<br>プロセラジェニオンII |
| Landmark System<br>株式会社アイキャット<br>LANDmarker              | 骨・粘膜・歯牙支持 | 通法印象<br>光学印象模型スキャナー<br>DICOM+STL (光学印象)                 | オープンシステム<br>STL データ排出機能付き<br>スキャナーであればい<br>ずれも可能   |
| シムプラントガイド<br>デンツプライシロナ株式会社<br>シムプラント                     | 骨・粘膜・歯牙支持 | 通法印象<br>光学印象模型スキャナー<br>DICOM+STL (光学印象)                 | クローズドシステム<br>メーカー指定の光学ス<br>キャナーのみ可能<br>3 Shape     |
| SICAT サージカルガイド<br>OPTI GUIDE<br>デンツプライシロナ株式会社<br>GALAXIS | 歯牙支持      | 通法印象<br>光学印象模型スキャナー<br>光学印象口腔内スキャナー<br>DICOM+STL (光学印象) | クローズドシステム<br>メーカー指定の光学ス<br>キャナーのみ可能                |

## ■ インプラント埋入シミュレーション による治療計画の設計

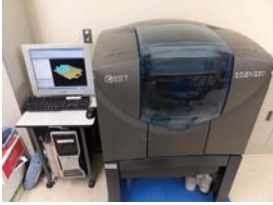

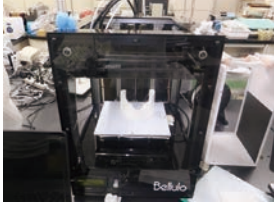



現在わが国で販売されている代表的なインプラントシミュレーションソフトと後述するサージカルガイドシステムの一覧を表1に示した。そのなかで、1996年のわが国販売当初より筆者が主に使用しているシムプラント（デンツプライシロナ株式会社）について、その特徴と有用性を概説する<sup>1)</sup>。

シムプラントはインプラント治療におけるトータルソリューションとして開発され、DICOMファイル出力可能な各種CT機器に対応している。そのデジタル機能としては、透過表示・分割表示・ボリュームレンダリングなど多彩な三次元画像表示、骨質のチェック（CT値）、骨造成領

域へのボリューム計測、抜歯即時埋入のシミュレーション、粘膜厚み・歯肉形態の表示、メタルアーチファクトの除去、サージカルガイドのレビュー表示、バーチャルティース機能による補綴物の設計などを備えている。インプラント治療計画では、インプラントメーカー100社1,000種類以上のリアルなインプラント・アバットメント表示が可能である。インプラントやアバットメントの長さ・直径・方向・深度・本数・位置をリアルな3D画像で計画することで、解剖学的な危険部位を把握できる。下顎管の描画、下顎管・上顎洞までの距離などを正確に計測する機能、インプラント間や下顎管・上顎洞などの解剖学的位置や補綴物に関する干渉チェック機能なども有している。

また、コミュニケーションツールとしての機能

表1 手術支援模型製作で用いる3Dプリンターの特徴

|                |   |   |  |
|----------------|---|---|--|
| 製品外観           |  |  |  |
| 製品名<br>(メーカー名) | EDEN 250<br>(Stratasys)   | ZPrinter 450<br>(3D Systems)  | Bellulo<br>(System Create)   |
| 造形方式           | 材料噴射法<br>(インクジェット法)   | 結合剤噴射法  | 材料押出法<br>(溶融堆積法)   |
| 材料             | 光硬化型樹脂  | 石膏粉末  | ABS-PLA  |
| 積層ピッチ          | 0.016mm   | 0.1mm   | 1mm  |
| コスト            | 高価  | 高価  | 安価   |
| 造形物            |  |  |  |
| 用途             | 手術シミュレーション  | 手術シミュレーション<br>カンファレンス・患者説明  | カンファレンス・患者説明   |

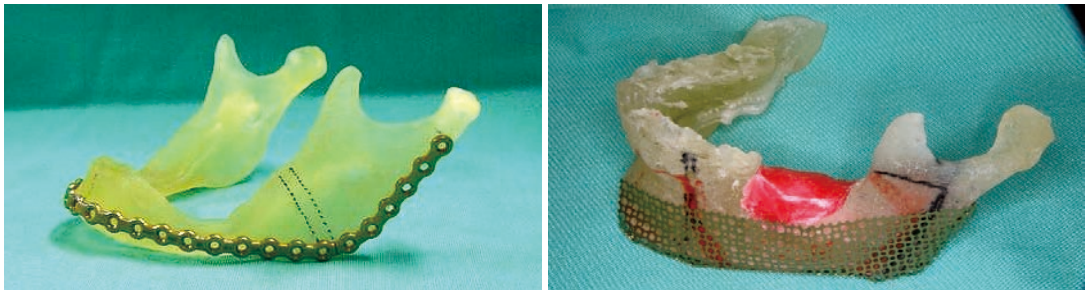


図5 手術支援模型に沿ったチタンメッシュ・チタンプレートの屈曲と移植骨片のシミュレーション

### ① DICOM データのインポート

DICOM データは立体形状のスライス画像であるため複数ファイルから構成される (図6, 7)。そのため、複数選択もしくはフォルダでまとめてソフトウェアにインポート (入力) する。インポート時には患者情報とスライス画像を確認する。

| 名前                                    | 更新日時             | 種類       | サイズ    |
|---------------------------------------|------------------|----------|--------|
| <input type="checkbox"/> 01000001.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000002.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000003.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000004.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000005.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000006.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000007.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000008.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000009.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |
| <input type="checkbox"/> 01000010.dcm | 2013/03/04 19:07 | DCM ファイル | 515 KB |

図6 DICOM データ

スライス厚により画像枚数は異なるが、1回の撮影は100～500枚の画像からなる。

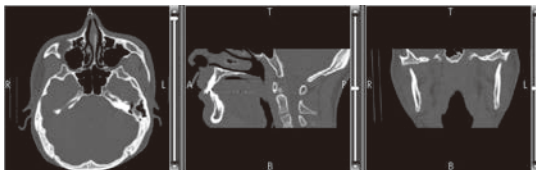


図7 CT画像

左から水平面 (Axial view), 矢状面 (Sagittal view), 前頭面 (Coronal view)